PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication numb r : 07-015041
(43)Date of publication of application : 17.01.1995

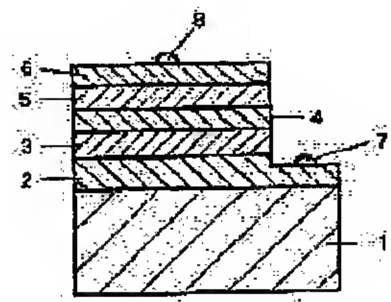
(51)Int.Cl. H01L 33/00

(21)Application number : 05-157219
(22)Date of filing : 28.06.1993

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD
(72)Inventor : NAKAMURA SHUJI
MUKAI TAKASHI

(54) LIGHT EMITTING ELEMENT OF GALLIUM NITRIDE BASED COMPOUND SEMICONDUCTOR

(57)Abstract:
PURPOSE: To make a gallium nitride based compound semiconductor layer mit light uniformly in the surface and improve light emission output, by adjusting the carrier concentration of an N-type gallium nitride based s miconductor layer and/or a P-type gallium nitride based compound s miconductor layer, so as to be small in accordance with the distance n arer form a light emitting layer.
CONSTITUTION: The following are laminated on a substrate 1: an N+ type GaN layer 2 as an N-type gallium nitride based compound semiconductor lay r, end an N-type Ga1-YAIYN layer 3 whose carrier concentration is smaller than the N+ type GaN layer 2. The value of Y is adjusted in the range of 0≤Y<1. An InXGa1-X layer 4 as a light emitting layer is laminated where.th value of X is adjusted in the range of 0<X<1. As a P-type gallium nitride based compound semiconductor layer, e P-type Ga1-ZAIZN layer 5 and a P+ type GaN layer 6 whose carrier concentration is larger than the P-typ Ga1-ZAIZN layer 5 are laminated. The value of Z is adjusted in the range of 0≤Z<1. Thereby a current can be made to flow uniformly in the whole part of the active layer, and uniform light emission is realized.



LEGAL STATUS

[Dat of request for examination]	19.04.1996
[Dat of sending the examiner's decision of rejection]	
[Kind of final disposal of application other than the xaminer's decision of rejection or application converted r gistration]	
[Date of final disposal for application]	
[Patent number]	2785254
[Dat of registration]	29.05.1998
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of requesting appeal egeinst examiner's decision of r jection]	
[Date of extinction of right]	

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device of terrorism structure in the doubl which possesses an n type InXGe1-XN (0< X<1) layer as a luminous layer between n type gallium-nitride system compound s miconductor layer end p type gallium-nitride system compound semiconductor layer. The gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device charecterized by being adjusted so that the carrier concentration of the aforementioned n type gallium-nitride system compound semiconductor layer end/or the aforementioned p type gallium-nitride system compound semiconductor layer may become small as it approaches the aforementioned InXGa1-XN layer.

[Claim 2] The aforementioned n type gallium-nitride system compound semiconductor layer is a gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device according to claim 1 charecterized by the bird clapper from an n+ type GaN layer with large carrier concentration, and en n type Ga1-YAlYN (0<=Y<1) layer with carrier concentration smaller than en n+ typ GaN layer.

[Claim 3] The aforementioned p type gallium-nitride system compound semiconductor layer is a gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device according to claim 1 characterized by the bird clapper from e p+ type GaN lay r with large carrier concentration, end a p type Ga1-ZAlZN (0<=Z<1) layer with carrier concentration smaller than e p+ type GaN layer.

[Claim 4] The eforementioned n type InXGa1-XN layer is a gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device according to claim 1 characterized by doping n type dopant and p type dopant, and considering as n type.

[Claim 5] The eforementioned p type gallium-nitride system compound semiconductor layer is the claim 1 characterized by cerrying out annealing and forming low resistance above 400 degrees C, or a gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device according to claim 3.

[Trenslation done.]

DETAILED DESCRIPTION

[D tailed Description of the Invention]
[0001]
[Industrial Application] this invention relates to the light emitting device which used the gallium-nitride system compound semiconductor, especially forward voltage (Vf) is low and is related with a gallium-nitride system compound semiconductor light mitting device with a still higher radiant power output.
[D scription of the Prior Art] Since gallium-nitride system compound semiconductors, such as GaN, GaAlN, InGaN, and InAlGaN, have a direct transition and a band gap changes to 1.95eV - 6eV, promising ** of light emitting diode, the les r diode, tc. is carried out as a material of a light emitting device. now, p type dopant was doped on n type gallium-nitride system compound semiconductor et the light emitting device using this materiel — high — the so-called blue light emitting diode of the MIS structure which carried out the leminating of the i type gallium-nitride system compound semiconductor [****] is known
[0002] es en example of the light emitting device of MIS structure, the technology which makes n type gallium-nitride syst m compound semiconductor layer the two-layer structure of n layers of low carrier concentration end n+ layer of high carri r concentretion from the order near i layers in JP,3-252176,A, JP,3-252177,A, end JP,3-252178,A, and/or the technology which makes high impurity concentration of i layers i layer of low high impurity concentration, i+ layer of high high impurity concentration, and two-layer structure from the order near n layers are indicated however, the light emitting devic of these MIS structure — luminescence intensity and a rediant power output — very much — low — further — high — sinc i leyers [****] were made into the luminous layer, more than 20V end since it was high, forward voltage (Vf) was inadequate for luminous efficiency putting in practical use by being bad
[0003] As en idea of the light emitting device which, on the other hand, used the gallium-nitride system compound semiconductor which has p-n junction, Light Emitting Diode of terrorism structure is proposed to the double which makes a GaAlN layer a luminous layer, end Light Emitting Diode of terrorism structure is proposed [at JP,59-228776,A] by JP,4-209577,A to the double which makes InGaN of a non dope a luminous layer. Moreover, as for the light emitting device of double hetero structure using p-n junction, much structures are proposed conventionally besides these official reports. However, since the formation of p mold of a gallium-nitride system compound semiconductor layer was difficult, such technology was not reelized.
[0004] high — i type [****] — low — considering as p type [****], and we being Japanese Patent Application No. No. 357046 [three to], and carrying out annealing of the i type gallium-nitride system compound semiconductor layer above 400 degrees C es technology for realizing the light emitting device of the p-n junction which raised the radiant power output, — low — the technology used as p type [****] was proposed
[0005]
[Probl m(s) to be Solved by the Invention] When we performed p mold-ization of e gallium-nitride system compound semiconductor with the above-mentioned technology and realized the light emitting device of double hetero structure using p-n junction for the first time, with the double hetero structure by which the conventional proposal was made, current did not flow uniformly between n type layer and p type layer, but we discovered that a gallium-nitride system compound semiconductor did not emit light to the homogeneity within a field. Moreover, according to our experiment, the big diff rence appeared in the rediant power output by factors, such es combination of the gallium-nitride system compound semiconductor which carries out a laminating, and a composition ratio. And the ohmic nature of the electrode formed in p type gallium-nitride system compound semiconductor was influenced by factors, such as the crystallinity of the p type layer, and e kind, forward voltege (Vf) became high to the defined forward current, and there was a problem that luminous effici ncy fell.
[0006] Therefore, when this invention is eccomplished for the purpose of solving the above-mentioned trouble and the 1st purpose offers the structure of the light emitting device of new double hetero structure, it is in making a gallium-nitride system compound semiconductor layer emit light to the homogeneity within a field, and raising the radiant power output of e light emitting device, and the 2nd purpose reduces Vf of a gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device, and is to reise luminous efficiency.
[0007]
[Meens for Solving the Problem] It found out that the above-mentioned problem was solvable by our improving further the light mitting device of the double het ro structure which makes a luminous layer a specific gallium-nitride system compound s miconductor, and adjusting th carri r conc ntration of n type clad lay r which sandwiches the luminous layer, and/or p clad layer. Namely, the gallium-nitride system compound semiconductor light emitting devic of this invention It is the gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device of t rrorism structure in the double which possesses an n type InXGa1-XN (0< X<1) lay r es e luminous layer between n type gallium-nitride system compound semiconductor layer and p type gallium-nitrid syst m compound semiconductor leyer. The cerrier concentration of the aforementioned n type gallium-nitride system compound semiconductor layer and/or the aforementioned p type gallium-nitride syst m compound semiconductor layer is characterized by being adjusted so that it may become small es it epproaches the eforementioned InXGa1-XN layer.
[0008] Drawing 1 is the type section view showing the structure of the light emitting device of one example of this

inv ntion, and is n type gallium-nitride system compound semiconductor layer (it is h reafter celled n clad layer.) on e substrat 1. Th laminating of the n+ typ GaN layer 2 and the n typ Ga1-YAlYN layer 3 with carrier conc ntration small r than the n+GaN layer 2 is carried out, the laminating of the InXGa1-XN ley r 4 is carried out as a luminous layer on it, and it is p type gallium-nitrid syst m compound semiconductor lay r (it is h r aft r called p clad lay r.) on it. ****** -- it is considering as th double hetero structure which carri d out th laminating of th p type Ga1-ZAlZN lay r 5 and the p+ type GaN layer 6 with larger carrier conc ntration than a p type Ga1-ZAlZN lay r to ord r

[0009] Although material, such as sapphire, and SiC, Si, ZnO, is used for a substrat 1, sapphire is usually us d. Mor over, b fore growing up the n+GaN layer 2, you may grow up the buffer lay r which consists of GaN, AlN, tc. on a substrete 1.

[0010] Although n clad lay r is made into the two-layer structure which carried out the laminating of the n+ type GaN layer 2 and th n typ Ga1-YAlYN layer 3 in drawing 1 , if it has adjusted so small that it is not necessary to make especially this layer into two-layer structure and a luminous leyer 4 is epproached in the carrier concentration of this n clad leyer, it cannot b overemphasized that it is good also as a multilayer layer structure which carried out the three or more layer laminating of the n cled layer. Since crystallinity becomes the best by setting to largest n+ type GaN of cerrier conc ntration preferably the layer which grows first, the crystallinity of the n type Ga1-YAlYN layer which grows on the n+ typ GaN layer also becomes good, and its radiant power output of a light emitting device improves. As for the carrier conc ntration of n clad layer, it is desirable to be able to make it change by changing suitably the amount of dopes of n typ dopants, such as Si, germanium, Se, Te, C, etc. which ere doped to a gallium-nitride system compound semiconductor, to dope the aforementioned dopant, and to adjust carrier concentration to the range of three to 1x1022/cm3 of 1x1016-/cm.

[0011] Although a luminous leyer 3 sets to n mold InXGa1-XN, and it will not limit especially if X value is larger than 0, it is d sirable to adjust to the range of 0< X<0.5. The luminescent color can shift to e long wavelength side from e short wav l ngth side, and X value can change it even to red in the one neighborhood as X value is increased. However, since InGaN X value excelled [InGaN] in crystallinity 0.5 or more becomes is hard to be obtained and the light emitting device exc ll nt in luminous efficiency becomes is hard to be obtained, es for X value, less than 0.5 are desirable.

[0012] Moreover, it is still more desirable to dope seid n type dopant or n type dopant, and p type dopants, such es Zn, Mg, Be, calcium, Sr, and Ba, and to consider as n type, although the n type InXGa1-XN layer 3 has the property in which e non dop also serves as n type. n type with which drawing 2 doped Zn 1x1018-/cm3 -- In0.15Ga0.85N layer and n type which dop d 1x1019/cm3 and Si for Zn 5x1019-/cm3 -- it is drawing in which irradiating helium-Cd laser et In0.15Ga0.85N layer, m asuring e photoluminescence (PL) at a room temperature, and measuring and showing those luminescence intensity The sp ctrel intensity of the InGaN layer which doped only Zn expands actual intensity by 10 times, end shows it. As shown in this drewing, the element to which the direction of PL spectrum (a) of n type InGaN which doped Si and Zn makes a luminous layer the InGaN layer which the direction of (a) beceme large 10 or more times as for the luminescence intensity, it doped n type dopant and p type dopant simultaneously, and was used as n type excels most PL spectrum (b) of n type InGaN which doped only Zn in the radiant power output. In addition, the In0.15Ga0.85N layer emission spectrum which dop d only Si 1x1019-/cm3 had a luminescence peak near 410nm, and the luminescence intensity was about 1 of (e)/2.

[0013] Although p clad layer is made into the two-layer structure which carried out the laminating of the p type Ga1-ZAlZN lay r 4 and the p+ type GaN layer 5 in drewing 1 If it has adjusted so small that it is not necessary to make especially this layer into two-leyer structure and a luminous layer 4 is epproached in the carrier concentration of this p clad layer, it is good as a multilayer layer structure which carried out the three or more layer laminating of the p clad layer as well as n clad lay r. By setting to largest p+ type GaN of carrier concentration preferebly the layer which forms an electrode, an l ctrode meterial end a desirable ohmic contact can be obtained, Vf of a light emitting device can be reduced, and luminous efficiency can be raised. Moreover, in order to change the carrier concentration of p clad layer, it is desirable to b able to realize by changing suitably the amount of dopes of said p type dopant, and to edjust cerrier concentretion to the renge of three to 1x1022/cm3 of 1x1016-/cm.

[0014] furthermore, the thing done for annealing ebove 400 degrees C so that the aforementioned p clad layer may be indicated to Japanese Patent Application No. No. 357046 [three to] for which we applied previously as stated above -- furth r -- low -- p type [****] can be obteined end the radiant power output of a light emitting device cen be raised

[0015]

[Function] An operation of the light emitting device of this invention is explained based on drawing 1 . If it energizes to a positive electrode 8 and a negative electrode 7, current will spread in the homogeneity within a field in the p+ type GaN layer 6 of high carrier concentration. If current value is made to increase and e certein amount of electric field are built, the current which spread in the p+ type GaN layer 6 can spread uniformly also in the p type Ga1-ZAlZN layer of low carrier conc ntration, and can make the InXGa1-XN layer 3 emit light uniformly. There is en operation with the same said of n clad lay r, by dividing n clad layer into the n+ type GaN layer 2 and the n type Ga1-YAlYN layer 3, current flows uniformly in the InXGa1-XN layer 3, uniform luminescence is obtained, end a radiant power output can be increased.

[0016] Furthermore, by limiting e layer with the largest carrier concentration with GaN in n clad layer, when the crystallinity of th n type Ga1-YAlYN layer which carries out a laminating on it improves and crystallinity improves, e rediant power output can be increased.

[0017] Moreover, by limiting a layer with the largest carrier concentration with GaN in p clad layer, ohmic nature with the positive electrode formed on the p+ type GaN layer cen become good, can reduce Vf, and can raise luminous efficiency.

[0018]

[Example] B low by the organic-metal vapor growth, how to manufacture the light emitting device of this inv ntion is stat d.

[0019] [Example 1] Passing hydrogen, aft r s tting the often washed silicon on sapphire in a reaction container end replacing th inside of a r action conteiner enough from hydrogen, the temperature of a substrete is raised to 1050 degrees C, and silicon on sapphire is cl en d.

[0020] Then, temperature is lowered to 510 d gre s C, hydrogen is used as carri r ges, ammonia and TMG (trim thylgallium) are used as material gas, and the buffer lay r which consists of GaN on silicon on sapphir is grown up by about 200A thickness.

[0021] Only TMG is stopped aft r buffer-lay r growth and t mperature is raised to 1030 d grees C. If it becomes 1030 degrees C, similarly, TMG and emmonia gas will b us d for material gas, silane gas will be us d for dopant gas, and 3.5 microm ters of n+ type GaN lay rs which doped Si will b grown up. In addition, the carrier concentretion of this Si dope n+GaN layer was 1x1019-/cm3.
[0022] Then, the flow rat of silan gas is less n d and 0.5 microm t rs of n type GaN leyers of 1x1018/of carrier conc ntration cm 3 are grown up. Thus, n clad lay r is mad into the two-lay r structure wh re carrier conc ntration diff rs.
[0023] Material gas and dopant gas ar stopped after n type GaN layer growth, temperature is made into 800 degrees C, cerrier gas is changed to nitrogen, and the 100A n mold In0.15Ga0.85N layer which dop d Zn and Si is grown up es material gas, using DEZ (di thyl zinc) and silane gas as TMG, TMI (trimethylindium), emmonie, and dopant gas.
[0024] Next, meterial gas and dopant gas are stopped, temperature is again raised to 1020 degrees C, and 0.2 micrometers of p type GaN layers which doped Mg are grown up es material gas, using Cp2Mg (magnesium cyclopentadienyl) as TMG, ammonia, and dopant gas.
[0025] Then, the flow rete of Cp2Mg gas is made [many], and 0.3 micrometers of p+ type GaN layers which doped many Mg rather than the p type GaN layer are grown up. Thus, p clad layer is made into the two-layer structure where carrier concentration differs.
[0026] A substrate is taken out from e reaction container after p+ type GaN layer growth, ennealing equipment is performed the inside of nitrogen atmosphere, annealing is performed for 20 minutes et 700 degrees C, and a p type GaN layer and a p+ typ GaN layer are further formed into low resistance. In addition, the carrier concentration of 1x1016-/cm3 end a p+GaN layer of the carrier concentration of e p type GaN layer was 1x1017-/cm3.
[0027] A part of p cled layer of the wafer obtained as mentioned above, n mold In0.15Ga0.85N layer, and n type GaN layer ere removed by etching, and an n+ type GaN layer is exposed. A p+ type GaN layer, After preparing an ohmic electrode in an n+ type GaN layer and cutting into the chip of 500-micrometer engle, When considered as light emitting diode according to the conventional method, it observed from the silicon-on-sapphire side, and uniform luminescence was obtained and Vf4.0V and rediant-power-output 700microW, the luminescence wavelength of 490nm, and the brightness of 1.1 cds w re obteined in 20mA on the whole surface.
[0028] In the [example 2] example 1, in case an n type GaN layer is grown up, TMA (trimethylaluminum) is newly added to mat rial gas, and, similarly the 3.5-micrometer Si dope n mold Ga0.9aluminum0.1N layer of carrier concentration 1x1018-/cm3 is grown up.
[0029] Furthermore, in case a p type GaN layer is grown up, TMA (trimethylaluminum) is newly added to material gas, and, similarly the 0.2-micrometer Mg dope p mold Ga0.9aluminum0.1N layer of 1x1016/of carrier concentration cm 3 is grown up.

[0030] When the above others obtained blue light emitting diode like the example 1, the same uniform complete luminescence was obtained and they were 1.1 cds in Vf4.0V and radiant-power-output 700microW, the luminescence wavelength of 490nm, and brightness in 20mA.
[0031] In the [example 3] exemple 1, when n clad layer was used as carrier concentretion 1x18-/cm3 and one layer of Si dop n type GaN layers of 4 micrometers of thickness and also blue light emitting diode was obtained similarly, the same uniform complete luminescence was obtained and it was 1 cd in Vf4.2V and radiant-power-output 500microW, the luminescence wavelength of 490nm, and brightness in 20mA.
[0032] In the [exemple 4] example 1, when p clad layer was used as carrier concentretion 1x17-/cm3 and one layer of Mg dope p+ type GaN layers of 0.5 micrometers of thickness and also blue light emitting diode was obtained similerly, the same uniform complete luminescence was obtained and it was 1 cd in Vf4.2V and rediant-power-output 500microW, the luminescence wavelength of 490nm, and brightness in 20mA.
[0033] In the [example 5] example 1, when p clad layer was made into the Mg dope p mold Ga0.9aluminum0.1N layer 1 layer of carrier concentration 1x1016-/cm3 and 0.2 micrometers of thickness and also blue light emitting diode was obtained similarly, the same uniform complete luminescence was obtained end it was 1 cd in Vf10V and radiant-power-output 500microW, the luminescence wavelength of 490nm, and brightness in 20mA. Vf increased because ohmic nature became bad writing p clad layer as GaAlN.
[0034]
[Eff ct of the Invention] as explained above, since the gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device of this invention makes n type InGaN terrorism structure to the double of the p-n junction made into a luminous layer, as compared with the light emitting device of the conventional MIS structure, it is markedly alike and luminous efficiency and e radiant power output increase Moreover, preferably, if an n type InGaN layer is n type with which p type dopant end n type dopant were doped, a radient power output will increase further.
[0035] Furthermore, since the light emitting device of this invention makes so small that InGaN which is a barrier layer is approached carrier concentration of n clad layer whose InGaN layer is pinched, and/or p clad layer, current flows uniformly to the whole barrier layer, and uniform luminescence is obtained. Either is sufficient elthough it is desirable to meke n clad layer end p clad layer into the aforementioned structure in order to make the rediant power output of a light emitting device into the maximum. thus, by changing a clad layer, the radient power output of a light emitting device can be boiled markedly, and can be reised Moreover, by using the electrode cambium of p clad layer as a p+GaN layer preferably, ohmic nature with an electrode can b come good, can reduce Vf, and can raise luminous fficiency.

[Translation done.]

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drewing 1] The type section view. showing the structure of the gallium-nitride system compound semiconductor light mitting device of one example of this invention.

[Drawing 2] Drawing measuring and showing the photoluminescence intensity of the n type InGaN layer by the difference in e dopant.

[Description of Notations]

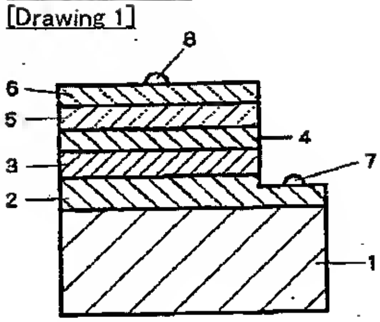
1 .... Substrate 2 .... n+ type GaN layer
3 .... n type Ga1-YAlYN layer 4 .... n type InXGa1-XN layer
5 .... p type Ga1-ZAlZN layer 6 .... p+ type GaN layer
7 and 8 .. Electrode

[Translation done.]

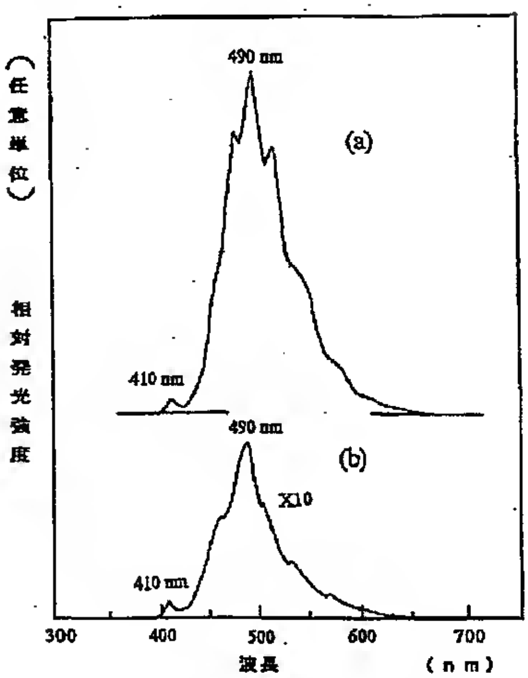
* NOTICES *

DRAWINGS

[Drawing 1]



[Drawing 2]



[Translation done.]

(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報（A）　(11)特許出願公開番号

特開平7－15041

(43)公開日　平成7年(1995)1月17日

(51)Int. Cl.⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H01L　33/00	C	7376－4M		

審査請求　未請求　請求項の数5　OL　（全5頁）

(21)出願番号　特願平5-157219

(22)出願日　平成5年(1993)6月28日

(71)出願人　000226057
日亜化学工業株式会社
徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72)発明者　中村　修二
徳島県阿南市上中町岡491番地100　日亜化学工業株式会社内

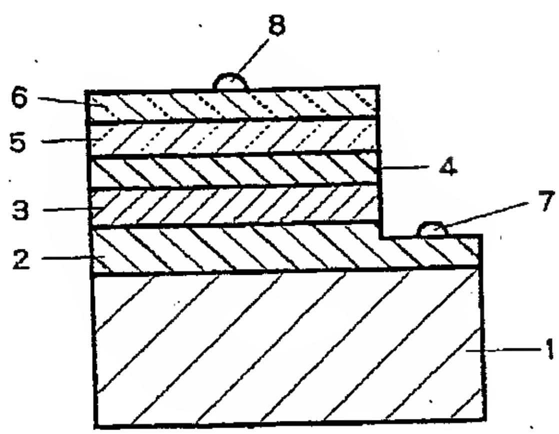
(72)発明者　向井　孝志
徳島県阿南市上中町岡491番地100　日亜化学工業株式会社内

(54)【発明の名称】窒化ガリウム系化合物半導体発光素子

(57)【要約】

【目的】　新規なダブルヘテロ構造の発光素子の構造を提供することにより、窒化ガリウム系化合物半導体層を面内均一に発光させ、発光素子の発光出力を向上させるとともに、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子のVfを低下させ、発光効率を向上させるp－n接合の窒化ガリウム系化合物半導体を用いて発光素子の輝度、および発光出力を向上させる。

【構成】　n型窒化ガリウム系化合物半導体層と、p型窒化ガリウム系化合物半導体層との間にn型$In_xGa_{1-x}N$（$0<X<1$）層を発光層として具備するダブルヘテロ構造の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子であって、前記n型窒化ガリウム系化合物半導体層、および／または前記p型窒化ガリウム系化合物半導体層のキャリア濃度が、前記$In_xGa_{1-x}N$層に接近するにつれて、低く調整されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】　n型窒化ガリウム系化合物半導体層と、p型窒化ガリウム系化合物半導体層との間にn型$In_xGa_{1-x}N$（$0<X<1$）層を発光層として具備するダブルヘテロ構造の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子であって、前記n型窒化ガリウム系化合物半導体層、および／または前記p型窒化ガリウム系化合物半導体層のキャリア濃度が、前記$In_xGa_{1-x}N$層に接近するにつれて、小さくなるように調整されていることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項2】　前記n型窒化ガリウム系化合物半導体層は、キャリア濃度の大きいn^+型GaN層と、n^+型GaN層よりもキャリア濃度の小さいn型$Ga_{1-Y}Al_YN$（$0\leqq Y<1$）層とからなることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項3】　前記p型窒化ガリウム系化合物半導体層は、キャリア濃度の大きいp^+型GaN層と、p^+型GaN層よりもキャリア濃度の小さいp型$Ga_{1-Z}Al_ZN$（$0\leqq Z<1$）層とからなることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項4】　前記n型$In_xGa_{1-x}N$層は、n型ドーパントとp型ドーパントとがドープされてn型とされていることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項5】　前記p型窒化ガリウム系化合物半導体層は400℃以上でアニーリングされて低抵抗化されていることを特徴とする請求項1、または請求項3に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は窒化ガリウム系化合物半導体を用いた発光素子に係り、特に順方向電圧（Vf）が低く、さらに発光出力が高い窒化ガリウム系化合物半導体発光素子に関する。

【従来の技術】GaN、GaAlN、InGaN、InAlGaN等の窒化ガリウム系化合物半導体は直接遷移を有し、バンドギャップが1、95eV～6eVまで変化するため、発光ダイオード、レーザダイオード等、発光素子の材料として有望視されている。現在、この材料を用いた発光素子には、n型窒化ガリウム系化合物半導体の上に、p型ドーパントをドープした高抵抗なi型の窒化ガリウム系化合物半導体を積層したいわゆるMIS構造の青色発光ダイオードが知られている。

【0002】MIS構造の発光素子の一例として、特開平3－252176号公報、特開平3－252177号公報、特開平3－252178号公報において、n型窒化ガリウム系化合物半導体層を、i層に近い順から低キャリア濃度のn層と、高キャリア濃度のn^+層との2層構造とする技術、および／またはi層の不純物濃度をn層に近い順から低不純物濃度のi層と、高不純物濃度のi^+層と2層構造とする技術が開示されている。しかしながら、これらMIS構造の発光素子は発光強度、発光出力共非常に低く、さらに高抵抗なi層を発光層としているため順方向電圧（Vf）が20V以上と高いため発光効率が悪く、実用化するには不十分であった。

【0003】一方、p－n接合を有する窒化ガリウム系化合物半導体を利用した発光素子のアイデアとして、例えば、特開昭59－228776号公報では、GaAlN層を発光層とするダブルヘテロ構造のLEDが提案されており、また、特開平4－209577号公報では、ノンドープのInGaNを発光層とするダブルヘテロ構造のLEDが提案されている。またこれら公報の他、従来p－n接合を用いたダブルヘテロ構造の発光素子は数々の構造が提案されている。しかしながら、これらの技術は、窒化ガリウム系化合物半導体層のp型化が困難であったため、実現されてはいなかった。

【0004】高抵抗なi型を低抵抗なp型とし、発光出力を向上させたp－n接合の発光素子を実現するための技術として、我々は特願平3－357046号で、i型窒化ガリウム系化合物半導体層を400℃以上でアニーリングすることにより低抵抗なp型とする技術を提案した。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】我々は、上記技術により窒化ガリウム系化合物半導体のp型化を行い、初めてp－n接合を用いたダブルヘテロ構造の発光素子を実現したところ、従来提案されていたダブルヘテロ構造では、n型層とp型層との間に電流が均一に流れず、窒化ガリウム系化合物半導体が面内均一に発光しないことを発見した。また、我々の実験によると、積層する窒化ガリウム系化合物半導体の組み合わせ、組成比等の要因で発光出力に大きな差が現れた。しかも、p型窒化ガリウム系化合物半導体に形成する電極のオーミック性が、そのp型層の結晶性、種類等の要因によって左右され、定められた順方向電流に対し、順方向電圧（Vf）が高くなり、発光効率が低下するという問題があった。

【0006】従って、本発明は上記問題点を解決することを目的として成されたものであり第1の目的は、新規なダブルヘテロ構造の発光素子の構造を提供することにより、窒化ガリウム系化合物半導体層を面内均一に発光させ、発光素子の発光出力を向上させることにあり、第2の目的は、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子のVfを低下させ、発光効率を向上させることにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】我々は特定の窒化ガリウム系化合物半導体を発光層とするダブルヘテロ構造の発光素子をさらに改良し、その発光層を挟むn型クラッド層および／またはpクラッド層のキャリア濃度を調整することにより、上記問題を解決できることを見いだした。即ち、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素

子は、n型窒化ガリウム系化合物半導体層と、p型窒化ガリウム系化合物半導体層との間にn型$In_xGa_{1-x}N$（$0<X<1$）層を発光層として具備するダブルヘテロ構造の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子であって、前記n型窒化ガリウム系化合物半導体層、および／または前記p型窒化ガリウム系化合物半導体層のキャリア濃度が、前記$In_xGa_{1-x}N$層に接近するにつれて、小さくなるように調整されていることを特徴とする。

【０００８】図１は本発明の一実施例の発光素子の構造を示す模式断面図であり、基板１の上に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層（以下、nクラッド層という。）として、n^+型GaN層２と、n^+GaN層２よりもキャリア濃度の小さいn型$Ga_{1-Y}Al_YN$層３とを積層し、その上に発光層として$In_xGa_{1-x}N$層４を積層し、その上にp型窒化ガリウム系化合物半導体層（以下、pクラッド層という。）として、p型$Ga_{1-Z}Al_ZN$層５と、p型$Ga_{1-Z}Al_ZN$層よりもキャリア濃度の大きいp^+型GaN層６とを順に積層したダブルヘテロ構造としている。

【０００９】基板１にはサファイア、SiC、Si、ZnO等の材料が使用されるが、通常はサファイアが用いられる。また、n^+GaN層２を成長させる前に、基板１の上にGaN、AIN等からなるバッファ層を成長させてもよい。

【００１０】図１では、nクラッド層はn^+型GaN層２と、n型$Ga_{1-Y}Al_YN$層３とを積層した２層構造としているが、特にこの層を２層構造とする必要はなく、このnクラッド層のキャリア濃度を発光層４に接近するほど小さく調整してあれば、nクラッド層を３層以上積層した多層膜層構造としてもよいことはいうまでもない。好ましくは、最初に成長する層をキャリア濃度の最も大きいn^+型GaNとすることにより、結晶性が最も良くなるため、そのn^+型GaN層の上に成長するn型$Ga_{1-Y}Al_YN$層の結晶性も良くなり発光素子の発光出力が向上する。nクラッド層のキャリア濃度は、窒化ガリウム系化合物半導体にドープするSi、Ge、Se、Te、C等のn型ドーパントのドープ量を適宜変更することにより変化させることができ、前記ドーパントをドープして、キャリア濃度を1×10^{16}／cm3〜1×10^{22}／cm3の範囲に調整することが好ましい。

【００１１】発光層３はn型$In_xGa_{1-x}N$とし、X値は０より大きければ特に限定しないが、$0<X<0.5$の範囲に調整することが好ましい。X値を増加するに従い発光色は短波長側から長波長側に移行し、X値が１付近で赤色にまで変化させることができる。しかしながら、X値が０．５以上では結晶性に優れたInGaNが得られにくくなり、発光効率に優れた発光素子が得られにくくなるため、X値は０．５未満が好ましい。

【００１２】また、n型$In_xGa_{1-x}N$層３はノンドープでもn型となる性質があるが、前記したn型ドーパント、またはn型ドーパントと、Zn、Mg、Be、Ca、Sr、Ba等のp型ドーパントとをドープしてn型とする方がさらに好ましい。図２は、Znを1×10^{18}／cm^3ドープしたn型In0.15Ga0.85N層と、Znを1×10^{19}／cm^3およびSiを5×10^{19}／cm^3ドープしたn型In0.15Ga0.85N層とにHe－Cdレーザーを照射して、室温でフォトルミネッセンス（PL）を測定し、それらの発光強度を比較して示す図である。ZnのみをドープしたInGaN層のスペクトル強度は実際の強度を１０倍に拡大して示している。この図に示すように、Znのみをドープしたn型InGaNのPLスペクトル（b）よりも、SiおよびZnをドープしたn型InGaNのPLスペクトル（a）の方がその発光強度は（a）の方が１０倍以上大きくなり、n型ドーパントとp型ドーパントとを同時にドープしてn型としたInGaN層を発光層とする素子が最も発光出力に優れている。なおSiのみを1×10^{19}／cm3ドープしたIn0.15Ga0.85N層の発光スペクトルは４１０nm付近に発光ピークがあり、その発光強度は（a）のおよそ１／２であった。

【００１３】図１において、pクラッド層はp型$Ga_{1-Z}Al_ZN$層４と、p^+型GaN層５とを積層した２層構造としているが、nクラッド層と同じく、特にこの層を２層構造とする必要はなく、このpクラッド層のキャリア濃度を発光層４に接近するほど小さく調整してあれば、pクラッド層を３層以上積層した多層膜層構造としてもよい。好ましくは、電極を形成する層をキャリア濃度の最も大きいp^+型GaNとすることにより、電極材料と好ましいオーミックコンタクトが得られ、発光素子のVfを低下させて、発光効率を向上させることができる。また、pクラッド層のキャリア濃度を変化させるには、前記したp型ドーパントのドープ量を適宜変更することにより実現でき、キャリア濃度を1×10^{16}／cm3〜1×10^{22}／cm3の範囲に調整することが好ましい。

【００１４】さらに、前記pクラッド層は、前にも述べたように我々が先に出願した特願平３－３５７０４６号に開示するように、４００℃以上でアニーリングすることにより、さらに低抵抗なp型を得ることができ、発光素子の発光出力を向上させることができる。

【００１５】

【作用】図１を元に本発明の発光素子の作用を説明する。正電極８と、負電極７とに通電すると、電流は高キャリア濃度のp^+型GaN層６で面内均一に広がる。電流値を増加させ、ある程度の電界がかかると、p^+型GaN層６に広がった電流は低キャリア濃度のp型$Ga_{1-Z}Al_ZN$層にも均一に広がり、$In_xGa_{1-x}N$層３を均一に発光させることができる。nクラッド層についても同様の作用があり、nクラッド層をn^+型GaN層２とn型$Ga_{1-Y}Al_YN$層３とに分けることにより、$In_xGa_{1-x}N$層３に均一に電流が流れて均一な発光が得ら

れ、発光出力を増大させることができる。

【００１６】さらに、nクラッド層で最もキャリア濃度の大きい層をＧａＮと限定することにより、その上に積層するn型$Ga_{1-Y}Al_YN$層の結晶性が向上し、結晶性が向上することにより、発光出力を増大させることができる。

【００１７】また、pクラッド層で最もキャリア濃度の大きい層をＧａＮと限定することにより、そのp^+型ＧａＮ層の上に形成する正電極とのオーミック性が良くなり、Ｖｆを低下させて発光効率を向上させることができる。

【００１８】

【実施例】以下有機金属気相成長法により、本発明の発光素子を製造する方法を述べる。

【００１９】［実施例１］よく洗浄したサファイア基板を反応容器内にセットし、反応容器内を水素で十分置換した後、水素を流しながら、基板の温度を１０５０℃まで上昇させサファイア基板のクリーニングを行う。

【００２０】続いて、温度を５１０℃まで下げ、キャリアガスとして水素、原料ガスとしてアンモニアとＴＭＧ（トリメチルガリウム）とを用い、サファイア基板上にＧａＮよりなるバッファ層を約２００オングストロームの膜厚で成長させる。

【００２１】バッファ層成長後、ＴＭＧのみ止めて、温度を１０３０℃まで上昇させる。１０３０℃になったら、同じく原料ガスにＴＭＧとアンモニアガス、ドーパントガスにシランガスを用い、Ｓｉをドープしたn^+型ＧａＮ層を３．５μm成長させる。なお、このＳｉドープn^+ＧａＮ層のキャリア濃度は1×10^{19}/cm3であった。

【００２２】続いて、シランガスの流量を少なくして、キャリア濃度1×10^{18}/cm3のn型ＧａＮ層を０．５μm成長させる。このようにして、nクラッド層をキャリア濃度の異なる２層構造とする。

【００２３】n型ＧａＮ層成長後、原料ガス、ドーパントガスを止め、温度を８００℃にして、キャリアガスを窒素に切り替え、原料ガスとしてＴＭＧとＴＭＩ（トリメチルインジウム）とアンモニア、ドーパントガスとしてＤＥＺ（ジエチルジンク）とシランガスとを用い、ＺｎおよびＳｉをドープしたn型$In_{0.15}Ga_{0.85}N$層を１００オングストローム成長させる。

【００２４】次に、原料ガス、ドーパントガスを止め、再び温度を１０２０℃まで上昇させ、原料ガスとしてＴＭＧとアンモニア、ドーパントガスとしてＣｐ2Ｍｇ（シクロペンタジエニルマグネシウム）とを用い、Ｍｇをドープしたp型ＧａＮ層を０．２μm成長させる。

【００２５】続いてＣｐ2Ｍｇガスの流量を多くして、Ｍｇをp型ＧａＮ層よりも多くドープしたp^+型ＧａＮ層を０．３μm成長させる。このようにしてpクラッド層をキャリア濃度の異なる２層構造とする。

【００２６】p^+型ＧａＮ層成長後、基板を反応容器から取り出し、アニーリング装置にて窒素雰囲気中、７００℃で２０分間アニーリングを行い、p型ＧａＮ層、およびp^+型ＧａＮ層をさらに低抵抗化する。なお、p型ＧａＮ層のキャリア濃度は1×10^{16}/cm3、p^+ＧａＮ層のキャリア濃度は1×10^{17}/cm3であった。

【００２７】以上のようにして得られたウエハーのpクラッド層、n型$In_{0.15}Ga_{0.85}N$層、およびn型ＧａＮ層の一部をエッチングにより取り除き、n^+型ＧａＮ層を露出させ、p^+型ＧａＮ層と、n^+型ＧａＮ層とにオーミック電極を設け、５００μm角のチップにカットした後、常法に従い発光ダイオードとしたところ、サファイア基板面から観測して全面に均一な発光が得られ、２０mＡにおいてＶｆ４．０Ｖ、発光出力７００μＷ、発光波長４９０nm、輝度１．１cdが得られた。

【００２８】［実施例２］実施例１において、n型ＧａＮ層を成長する際、新たに原料ガスにＴＭＡ（トリメチルアルミニウム）を加え、同じくキャリア濃度1×10^{18}/cm^{3}のＳｉドープn型$Ga_{0.9}Al_{0.1}N$層を３．５μm成長させる。

【００２９】さらに、p型ＧａＮ層を成長する際、新たに原料ガスにＴＭＡ（トリメチルアルミニウム）を加え、同じくキャリア濃度1×10^{16}/cm^{3}のＭｇドープp型$Ga_{0.9}Al_{0.1}N$層を０．２μm成長させる。

【００３０】以上の他は実施例１と同様にして青色発光ダイオードを得たところ、同じく均一な全面発光が得られ、２０mＡにおいてＶｆ４．０Ｖ、発光出力７００μＷ、発光波長４９０nm、輝度１．１cdであった。

【００３１】［実施例３］実施例１において、nクラッド層をキャリア濃度$1\times^{18}$/cm3、膜厚４μmのＳｉドープn型ＧａＮ層１層とする他は、同様にして青色発光ダイオードを得たところ、同じく均一な全面発光が得られ、２０mＡにおいてＶｆ４．２Ｖ、発光出力５００μＷ、発光波長４９０nm、輝度１cdであった。

【００３２】［実施例４］実施例１において、pクラッド層をキャリア濃度$1\times^{17}$/cm3、膜厚０．５μmのＭｇドープp^+型ＧａＮ層１層とする他は、同様にして青色発光ダイオードを得たところ、同じく均一な全面発光が得られ、２０mＡにおいてＶｆ４．２Ｖ、発光出力５００μＷ、発光波長４９０nm、輝度１cdであった。

【００３３】［実施例５］実施例１において、pクラッド層をキャリア濃度1×10^{16}/cm^3、膜厚０．２μmのＭｇドープp型$Ga_{0.9}Al_{0.1}N$層１層とする他は同様にして青色発光ダイオードを得たところ、同じく均一な全面発光が得られ、２０mＡにおいてＶｆ１０Ｖ、発光出力５００μＷ、発光波長４９０nm、輝度１cdであった。Ｖｆが増加したのは、pクラッド層をＧａＡｌＮとしたためにオーミック性が悪くなったからである。

【００３４】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の窒化ガリ

ウム系化合物半導体発光素子は、ｎ型ＩｎＧａＮを発光層とするｐ－ｎ接合のダブルヘテロ構造としているため、従来のＭＩＳ構造の発光素子に比して、格段に発光効率、発光出力が増大する。また好ましくはｎ型ＩｎＧａＮ層は、ｐ型ドーパントおよびｎ型ドーパントがドープされたｎ型であれば、さらに発光出力が増大する。

【００３５】さらに本発明の発光素子は、ＩｎＧａＮ層を挟むｎクラッド層、および／またはｐクラッド層のキャリア濃度を活性層であるＩｎＧａＮに接近するほど小さくしているため、活性層全体に均一に電流が流れ、均一な発光が得られる。発光素子の発光出力を最大にするためには、ｎクラッド層、ｐクラッド層とも前記構造とすることが好ましいが、いずれか一方でもよい。このようにクラッド層を変化させることにより、発光素子の発光出力を格段に向上させることができる。また、好ましくｐクラッド層の電極形成層をｐ+ＧａＮ層とすることにより、電極とのオーミック性が良くなりＶｆを低下させて発光効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】　本発明の一実施例の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の構造を示す模式断面図。

【図２】　ドーパントの違いによるｎ型ＩｎＧａＮ層のフォトルミネッセンス強度を比較して示す図。

【符号の説明】

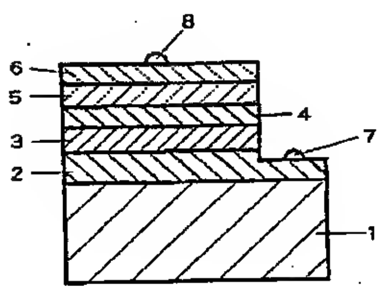
１・・・・　基板　　２・・・・　n^+型ＧａＮ層

３・・・・　ｎ型$Ga_{1-Y}Al_YN$層　　４・・・・　ｎ型$In_XGa_{1-X}N$層

５・・・・　ｐ型$Ga_{1-Z}Al_ZN$層　　６・・・・　p^+型ＧａＮ層

７、８・・　電極

【図１】



【図２】